

## RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)  
autor(a), o texto completo desta tese  
será disponibilizado somente a partir  
de 17/03/2025.



**Universidade Estadual Paulista  
Júlio de Mesquita Filho  
Centro de Aquicultura da Unesp**



**Efeito da lisina dietética no desempenho, manutenção,  
eficiência de utilização de lisina e composição química  
tecidual do pacu (*Piaractus mesopotamicus*)**

**Manuel Rosa da Silva Neto**

**CAUNESP/JABOTICABAL-SP**

**MARÇO – 2023**



**Universidade Estadual Paulista  
Júlio de Mesquita Filho  
Centro de Aquicultura da Unesp**



**Efeito da lisina dietética no desempenho, manutenção,  
eficiência de utilização de lisina e composição química  
tecidual do pacu (*Piaractus mesopotamicus*)**

**Manuel Rosa da Silva Neto**

**Orientador: João Batista Kochenborger Fernandes**

**Tese apresentada ao programa  
de Pós-Graduação em  
Aquicultura do Centro de  
Aquicultura da UNESP –  
CAUNESP, como parte dos  
requisitos para obtenção do  
título de Doutor**

**CAUNESP/JABOTICABAL-SP**

**MARÇO – 2023**

S586e Silva Neto, Manuel Rosa da  
Efeito da lisina dietética no desempenho, manutenção, eficiência de utilização de lisina e composição química tecidual do pacu (*Piaractus mesopotamicus*) / Manuel Rosa da Silva Neto. -- Jaboticabal, 2023  
iii, 71 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura, 2023  
Orientador: João Batista Kochenborger Fernandes  
Banca examinadora: Alda Lucia de Lima Amancio, José Jordão Filho, José Humberto Vilar da Silva, Teresa Cristina Ribeiro Dias Koberstein

Bibliografia

1. Lisina na nutrição animal 2. Eficiência alimentar 3. Peixes tropicais 4. Peixe nativo 5. Nutrição de pacu. I. Título. II. Jaboticabal-Centro de Aquicultura.

CDU 639.3.043



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Unidade Complementar - Jaboticabal

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: **Lisina dietética no desempenho, manutenção, eficiência de utilização e composição química tecidual do pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887)**

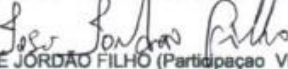
AUTOR: **MANUEL ROSA DA SILVA NETO**

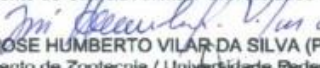
ORIENTADOR: **JOÃO BATISTA KOCHENBORGER FERNANDES**

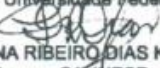
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Aquicultura, pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. JOÃO BATISTA KOCHENBORGER FERNANDES (Participação Virtual)  
Laboratório de Peixes Ornamentais / Centro de Aquicultura da UNESP, CAUNESP, Jaboticabal-SP

  
Profa. Dra. ALDA LUCIA DE LIMA AMANCIO (Participação Virtual)  
Departamento de Ciência Animal do Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias / Universidade Federal da Paraíba

  
Prof. Dr. JOSE JORDÃO FILHO (Participação Virtual)  
Departamento de Ciência Animal / Universidade Federal da Paraíba, UFPB, João Pessoa-PB

  
Prof. Dr. JOSE HUMBERTO VILAR DA SILVA (Participação Virtual)  
Departamento de Zootecnia / Universidade Federal da Paraíba, UFPB

  
Profa. Dra. TERESA CRISTINA RIBEIRO DIAS KOBERSTEIN (Participação Virtual)  
/ Centro de Aquicultura da Unesp - CAUNESP

Jaboticabal, 17 de março de 2023

## SUMÁRIO

|                                                              |            |
|--------------------------------------------------------------|------------|
| <b>DEDICATÓRIA .....</b>                                     | <b>i</b>   |
| <b>AGRADECIMENTOS.....</b>                                   | <b>ii</b>  |
| <b>RESUMO.....</b>                                           | <b>iii</b> |
| Introdução .....                                             | 7          |
| <b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>                           | <b>9</b>   |
| Conceito de proteína ideal .....                             | 10         |
| Exigência de aminoácidos para manutenção.....                | 12         |
| Eficiência de utilização dos aminoácidos .....               | 13         |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                      | <b>15</b>  |
| <b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>                             | <b>26</b>  |
| Local do experimento e Comitê de Ética.....                  | 26         |
| Instalações e Análise da Água.....                           | 26         |
| Aquisição dos peixes e Delineamento .....                    | 26         |
| Dietas experimentais.....                                    | 27         |
| Coleta de amostras e análises químicas.....                  | 30         |
| Índices de Desempenho .....                                  | 31         |
| Requisitos basais e eficiência da utilização de lisina ..... | 31         |
| <b>ANÁLISE ESTATÍSTICA .....</b>                             | <b>32</b>  |
| <b>RESULTADOS.....</b>                                       | <b>33</b>  |
| Desempenho nas fases de crescimento e terminação.....        | 33         |
| Composição química corporal.....                             | 40         |
| Requisitos basais e eficiência da utilização de lisina ..... | 44         |
| <b>DISCUSSÃO .....</b>                                       | <b>46</b>  |
| <b>CONCLUSÃO .....</b>                                       | <b>56</b>  |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                      | <b>57</b>  |
| <b>ANEXO .....</b>                                           | <b>65</b>  |
| <b>Fórmulas utilizadas:.....</b>                             | <b>65</b>  |

### **Salmos 133**

Oh! quão bom e quão suave é que os irmãos vivam em união.  
É como o óleo precioso sobre a cabeça, que desce sobre a barba, a barba de  
Arão, e que desce à orla das suas vestes.  
Como o orvalho de Hermom, e como o que desce sobre os montes de Sião,  
porque ali o Senhor ordena a bênção e a vida para sempre.

### **Salmos 23**

O SENHOR é o meu pastor, nada me faltará.  
Deitar-me faz em verdes pastos, guia-me mansamente a águas tranquilas.  
Refrigera a minha alma; guia-me pelas veredas da justiça, por amor do seu  
nome.  
Ainda que eu andasse pelo vale da sombra da morte, não temeria mal algum,  
porque tu estás comigo; a tua vara e o teu cajado me consolam.  
Preparas uma mesa perante mim na presença dos meus inimigos, unges a  
minha cabeça com óleo, o meu cálice transborda.  
Certamente que a bondade e a misericórdia me seguirão todos os dias da minha  
vida; e habitarei na casa do Senhor por longos dias.

### **Romanos 8:18**

Porque para mim tenho por certo que as aflições deste tempo presente não são  
comparáveis com a glória que em nós há de ser revelada.

### **Tiago 1:5**

Se alguém de vós tem falta de sabedoria, peça-a a Deus, que a todos dá  
livremente, e não lhe será imputada; e ser-lhe-á dada.

## DEDICATÓRIA

Com imenso carinho e gratidão, dedico esta tese a Deus, que tem me guiado e me dado forças em todos os momentos da minha vida, especialmente durante o percurso de aprendizado que culminou neste trabalho. Agradeço por cada desafio superado e por cada conquista alcançada.

Ao Colégio Agrícola Vidal de Negreiros (Meu Colégio, Meu Orgulho) CAVN/CCHSA/UFPB na cidade de Bananeiras/PB, instituição de ensino com excelentes professores que despertaram meu amor e afinidade pela Aquicultura e onde tive a oportunidade de aprender e crescer como pessoa. Agradeço por ter sido a base de minha formação e por ter proporcionado momentos inesquecíveis e importantes para minha trajetória acadêmica.

Aos meus pais, Marcos Antônio Fidelis da Silva e Paula Francinete Gomes Fidelis e irmão Marcos Antônio Fidelis da Silva Júnior que sempre acreditaram em mim e me apoiaram incondicionalmente, quero expressar meu imenso amor e gratidão. Vocês são meu exemplo de dedicação e amor à família e à vida.

A Ediana da Silva Ramos que tem sido minha amiga, companheira e esposa que pacientemente acompanhou todo este processo. Sua resiliência é minha inspiração.

À minha querida tia Maria das Graças Mendes Gomes, que desde cedo incentivou me apoiou incondicionalmente. Você foi mais do que uma tia, foi uma segunda mãe que sempre esteve presente em minha vida e contribuiu para que eu chegasse até aqui.

Por fim, homenageio meus avós, Geralda Moisés e Manoel Rosa da Silva, mesmo que não estejam mais aqui fisicamente, seus ensinamentos e amor sempre estarão presentes em minha memória. Agradeço por terem sido fontes de sabedoria e amor incondicional durante toda a minha vida.

Que Deus abençoe a todos nós e nos guie em nossos caminhos, agora e sempre.  
Assim seja!!!

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço de coração ao meu orientador Professor Doutor João Batista Kochenborger Fernandes, por sua abordagem única e confiante de orientação. Desde o início, você acreditou em mim, incluindo a confiança de me deixar liderar o laboratório de peixes ornamentais. Esse papel me permitiu não apenas encontrar minhas próprias respostas, mas também ajudar outras pessoas a conduzir suas pesquisas, aprender por conta própria, solucionar problemas e desenvolver minha liderança. As atividades de extensão e apresentações ao público no Centro de Aquicultura também enriqueceram minha formação. Estou eternamente grato por sua orientação e sem os quais este marco importante na minha carreira acadêmica não teria sido possível. Muito obrigado.

Quero expressar minha profunda gratidão aos membros da banca de qualificação e defesa. Agradeço o tempo e dedicação que vocês dispensaram para avaliar e guiar o meu trabalho. A sua expertise e conhecimento irá lapidar ainda mais este trabalho. Estou muito grato pela oportunidade de aprender com vocês e pelas valiosas contribuições. Agradeço de coração a cada um de vocês por sua colaboração nesta jornada acadêmica.

Expresso minha profunda gratidão aos meus colegas de laboratório de peixes ornamentais, Kifayat, Monique, Jayne e estagiários que por lá passaram. Aproveito também para deixar um agradecimento em especial para a Thais Oliveira pela paciência e dedicação em ensinar e compartilhar seus conhecimentos de outros ensaios com peixes. Sua habilidade de transmitir informações de maneira clara e eficiente foi fundamental para meu crescimento. No geral, vocês foram incansáveis parceiros ao longo desta jornada acadêmica. Além de compartilhar conhecimentos e experiências, vocês me ensinaram a entrar no ritmo do Centro de Aquicultura e a lidar com as diferentes situações que surgiram, contribuindo para o meu crescimento profissional e pessoal. A nossa parceria foi fundamental para o meu sucesso e estou eternamente grato.

Minha sincera gratidão ao Laboratório de Avicultura do FCAV/UNESP e ao grupo de estudos do Lavinesp, sob a orientação da Professora Doutora Nilva Kazue Sakomura. A disponibilidade de insumos, o conhecimento teórico e o laboratório para as análises físico-químicas, além da boa vontade em ajudar-me, especialmente com os maquinários da fábrica de ração, foram fundamentais para

o meu sucesso na realização desta tese. Quero também agradecer a Professora Nilva por sua disponibilidade em corrigir minha proposta ainda enquanto era um projeto, e por sua contribuição para o meu desenvolvimento acadêmico. Além disso, agradeço a comodidade proporcionada no ambiente do laboratório, que foi fundamental para o meu bem-estar e desempenho.

Gostaria de agradecer a todos os alunos e funcionários do CAUNESP e FCAV - Jaboticabal pelo convívio durante todo o meu percurso acadêmico. Em especial, gostaria de destacar aos funcionários Márcio Reche, Luiz da tilapicultura, Valdecir Fernandes, Roberto da Carcinicultura, Jamil Eletricista e David Lorente da secretaria da pós, que tiveram um convívio ainda mais próximo e proporcionaram uma experiência ainda mais agradável durante a minha estadia em Jaboticabal.

A academia Espaço Insano pelas aulas de Jiu-Jitsu, que foram essenciais durante a minha jornada acadêmica. Aprendi muito com o Professor Orlando Figueiredo e o instrutor Marcelino, que sempre me ajudaram a alcançar meus objetivos na prática desse esporte. A atividade física foi fundamental para equilibrar minha mente e corpo durante esse período desafiador, e sem dúvida, contribuiu para o meu sucesso na realização desta tese. Muito obrigado a todos da academia Espaço Insano por me proporcionarem essa incrível oportunidade de praticar Jiu-Jitsu “soltinho”.

Gostaria de agradecer imensamente ao Luiz Eduardo, dono do prédio onde morei por quatro anos. Durante todo esse tempo, você sempre foi extremamente proativo ao atender às necessidades dos moradores, tornando nossa vida mais confortável e agradável. A sua dedicação em resolver qualquer problema ou questão imediatamente e sempre com um sorriso no rosto foi uma verdadeira marca registrada da sua personalidade e é algo que nunca será esquecido.

Ao Renato Bedim, proprietário da Loja Nutrivita de produtos veterinários e rações de pets em Jaboticabal. A sua aceitação de minha assistência técnica e sugestões de melhorias aos peixes ornamentais em seu estabelecimento foi uma grande oportunidade para eu aplicar meus conhecimentos e ajudar a melhorar a qualidade de vida dos animais em seu estabelecimento. Além disso, sua indicação para prestar assistência técnica no município de Pitangueiras foi uma grande honra e excelente experiência.

À Professora Rose Vidotti pelos valiosos conhecimentos compartilhados sobre compostagem dos resíduos da aquicultura. Sua dedicação e paixão pela preservação do meio ambiente e pela sustentabilidade da aquicultura foi uma grande inspiração para mim e tenho certeza de que estes conhecimentos serão de grande valia em minha carreira.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho, que apesar de todas as dificuldades, adversidades e atrasos causados pela pandemia, juntos conseguimos superar todos os obstáculos e chegar até aqui.

### **APOIO FINANCEIRO**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e da Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo (FAPESP), processo Nº 2020/16791-0, pelo apoio financeiro para o desenvolvimento da pesquisa.

## RESUMO

### **Efeito da lisina dietética no desempenho, manutenção, eficiência de utilização de lisina e composição química tecidual do pacu (*P. mesopotamicus*)**

Foram realizados dois experimentos com o objetivo de avaliar o desempenho e estimar a manutenção e a eficiência de utilização da lisina, em duas fases de vida do pacu, na fase de crescimento foram utilizados 120 peixes com peso inicial médio de  $184,24 \pm 0,40$ g e na fase de terminação 120 peixes com peso inicial médio  $854,68 \pm 17,38$ g, distribuídos em 20 unidades experimentais de 1.000 litros, cada unidade, uma contendo seis peixes. Nas duas fases os peixes foram alimentados com dietas contendo os níveis totais de (0,70; 1,32; 1,74; 2,17 e 2,59%). As dietas foram isoenergéticas e os ensaios ocorreram em 80 e 91 dias respectivamente. O delineamento foi inteiramente ao acaso, com cinco tratamentos (níveis de lisina) e quatro réplicas. Cada ensaio teve foi adicionado uma dieta contraprova contendo o nível de lisina (0,95%) com quatro réplicas, para validar a limitante da lisina. Nos dois ensaios, os peixes que ingeriram os maiores níveis de lisina, apresentaram melhor desempenho, eficiência alimentar, deposição de proteína e redução de gordura corporal. Para atender às necessidades nutricionais dos pacus, foi estimado em média de 1,96% de lisina digestível durante o crescimento, considerando uma conversão alimentar de 1,99 e uma taxa de eficiência proteica de 1,93, e 1,97% de lisina digestível na fase de terminação, levando em conta uma conversão alimentar de 1,91 e uma taxa de eficiência proteica de 2,03. Essas quantidades otimizam o crescimento e o desempenho dos pacus em diferentes estágios. Também foi constatado variações de acordo com a idade para a exigência na manutenção  $53,05 \text{ mg/kg}^{-0,8}/\text{dia}^{-1}$  na fase de crescimento e  $19,38 \text{ mg/kg}^{-0,8}/\text{dia}^{-1}$  na terminação.

**Palavras chaves:** Lisina na nutrição animal, Eficiência alimentar, Peixes tropicais, Peixe nativo, Nutrição de Pacu

## ABSTRACT

### **Effect of dietary lysine on performance, maintenance, lysine utilization efficiency, and tissue chemical composition of pacu (*P. mesopotamicus*)**

Two experiments were conducted to evaluate performance and estimate lysine maintenance and utilization efficiency in two life stages of pacu. In the growth phase, 120 fish with an average initial weight of  $184.24 \pm 0.40$ g were used, and in the finishing phase, 120 fish with an average initial weight of  $854.68 \pm 17.38$ g were used, distributed in 20 experimental units of 1,000 liters, each containing six fish. In both phases, fish were fed diets containing total lysine levels of (0.70; 1.32; 1.74; 2.17; and 2.59%). The diets were isoenergetic, and the trials lasted for 80 and 91 days, respectively. The design was completely randomized, with five treatments (lysine levels) and four replicates. For each trial, a control diet containing the lysine level (0.95%) with four replicates was added to validate lysine limitation. In both trials, fish ingesting higher lysine levels showed better performance, feed efficiency, protein deposition, and reduced body fat. To meet the nutritional needs of pacu, the average estimated digestible lysine was 1.96% during growth, considering a feed conversion ratio of 1.99 and a protein efficiency ratio of 1.93, and 1.97% digestible lysine in the finishing phase, considering a feed conversion ratio of 1.91 and a protein efficiency ratio of 2.03. These quantities optimize the growth and performance of pacu at different stages. Age-related variations were also observed for maintenance requirement,  $53.05 \text{ mg/kg}^{-0.8}/\text{day}^{-1}$  in the growth phase and  $19.38 \text{ mg/kg}^{-0.8}/\text{day}^{-1}$  in the finishing phase.

**Keywords:** Lysine in animal nutrition, Feed efficiency, Tropical fish, Native fish, Pacu nutrition

## CONSIDERAÇÕES GERAIS

### *Introdução*

A piscicultura desempenha um papel de grande importância na economia mundial, uma vez que é um dos setores de produção que mais tem crescido nos últimos anos, tornando-se cada vez mais moderna e eficiente. O pacu (*Piaractus mesopotamicus*) é uma espécie nativa das bacias dos rios Paraná, Paraguai e Uruguai, conhecida por suas excelentes características zootécnicas, sua rusticidade e a qualidade de sua carne. Originário da Bacia do Prata, o pacu é mais tolerante às temperaturas frias em comparação com outros peixes de água doce, o que o torna adequado para produção em determinadas regiões do Brasil, onde as temperaturas podem ser mais baixas. Além disso, o pacu apresenta um bom desempenho em sistemas de piscicultura intensiva, com índices de produção excelentes, incluindo ganho de peso, conversão alimentar, crescimento e resistência. Essa espécie é amplamente cultivada em países da América do Sul (Embrapa, 2017; IBGE, 2018).

Para alcançar o máximo desempenho, os peixes exigem dietas que atendam às suas necessidades de manutenção e crescimento, visando a otimização do desempenho produtivo. Nesse contexto, a proteína desempenha um papel fundamental e é um dos nutrientes mais dispendiosos nas dietas. Entretanto, é importante ressaltar que níveis elevados de proteína não garantem um melhor aproveitamento, pois os peixes apresentam melhor bem-estar, saúde e desempenho quando os níveis de aminoácidos estão adequadamente balanceados, o que contribui para o máximo desempenho zootécnico (Wilson, 2002; Webster, 2002; Boscolo, 2003; Barros, 2010).

A lisina é o primeiro aminoácido limitante em dietas formuladas com base em milho e farelo de soja para peixes (Abimorad et al., 2010). É também o aminoácido encontrado em maior concentração na composição corporal do pacu (Abimorad et al., 2010; Khan et al., 2019a). Dietas isentas em lisina resultam na redução do crescimento e da eficiência alimentar, podendo favorecer a erosão das nadadeiras dorsais e caudais, como foi constatado em truta arco-íris e carpa comum (NRC, 2011), em pacus (Dairiki et al., 2013) e em tilápias (Ovie & Eze, 2013). Outra consequência da deficiência de lisina é a menor retenção de

nitrogênio corporal em alevinos e juvenis de pacu (Abimorad et al., 2017). Nesse contexto, a lisina é o aminoácido chave para alcançar a proporção ideal de proteína em dietas para diversas espécies de peixes produzidos em sistemas intensivos (Wilson, 2002; NRC, 2011).

Diante da carência de informações sobre eficiência de utilização para cada aminoácido em diferentes fases de vida dos peixes e sua importância para elaboração de futuros modelos de predição das exigências dos aminoácidos, no presente estudo são abordados a técnica de diluição, desempenho de crescimento, estimativa de exigência para manutenção e eficiência de utilização de lisina para deposição de proteína corporal na fase de crescimento 184 g e terminação de pacus 854 g.

## CONCLUSÃO

Para atender às necessidades nutricionais dos pacus, estima-se a média de 1,96% de lisina digestível durante o crescimento, considerando uma conversão alimentar de 1,99 e uma taxa de eficiência proteica de 1,93, e 1,97% de lisina digestível na fase de terminação, levando em conta uma conversão alimentar de 1,91 e uma taxa de eficiência proteica de 2,03. Essas quantidades otimizam o crescimento e o desempenho dos peixes em diferentes estágios. Além disso, a manutenção requer  $53,05 \text{ mg/kg}^{-0,8}/\text{dia}^{-1}$  durante o crescimento e  $19,38 \text{ mg/kg}^{-0,8}/\text{dia}^{-1}$  na terminação, com variações de acordo com a idade e a eficiência da utilização da lisina para o crescimento da proteína corporal foi estimada em 33% e 51% respectivamente.

## REFERÊNCIAS

ABIMORAD, E.G.; CARNEIRO, D.J. Métodos de coleta de fezes e determinação dos coeficientes de digestibilidade da fração proteica e da energia de alimentos para o pacu, (*Piaractus mesopotamicus*) (Holmberg, 1887). Revista Brasileira de Zootecnia, v. 33, n. 5, p. 1101-1109, 2004. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982004000500001>.

ABIMORAD, E; CARNEIRO, D. Digestibility and performance of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) juveniles - fed diets containing different protein, lipid and carbohydrate levels. Aquaculture Nutrition, v. 13, p. 1-9, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00438.x>.

ABIMORAD, E.; SQUASSONI, G; CARNEIRO, D. Apparent digestibility of protein, energy, and amino acids in some selected feed ingredients for pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Aquaculture Nutrition, v. 14, p. 374-380, 2008. Disponível em: <https://doi.dx.org/doi:10.1111/j.1365-2095.2007.00544.x>.

ABIMORAD, E. G.; FAVERO, G.C.; CASTELLANI, D.; GARCIA, F.; CARNEIRO, D.J. Dietary supplementation of lysine and/or methionine on performance, nitrogen retention and excretion in pacu (*Piaractus mesopotamicus*) reared in cages. Aquaculture, v. 295, n. 3-4, p. 266-270, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.07.001>.

ABIMORAD, E. G., FAVERO, G. C., SQUASSONI, G. H.; CARNEIRO, D. Dietary digestible lysine requirement and essential amino acid to lysine ratio for pacu, (*Piaractus mesopotamicus*). Aquaculture Nutrition, v. 16, p. 370-377, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00674.x>.

ABIMORAD, E. G.; DUCATTI, C.; CASTELLANI, D.; JOMORI, R. K.; PORTELLA, M. C.; SARTORI, M. P.; CARNEIRO, D. J. Dietary lysine deficiency increases the incorporation rate of nitrogen-free compounds in muscle of pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Aquaculture, v. 479, p.522-527, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.06.033>.

AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC International (21st ed.). Maryland: AOAC International, 2019.

Ahmed, Mukhtar A Khan. Dietary lysine requirement of fingerling Indian major carp, (*Cirrhinus mrigala*) - Hamilton). Aquaculture, Volume 235, Issues 1–4, 2004, Pages 499-511. ISSN 0044-8486. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.12.009>.

ARBELÁEZ-ROJAS, GUSTAVO ALBERTO, FRACALOSS, DÉBORA MACHADO E FIM, JORGE DANIEL INDRUSIAK. Composição corporal de tambaqui, (*Colossoma macropomum*), e matrinxã, (*Brycon cephalus*), em sistemas de cultivo intensivo, em igarapé, e semi-intensivo, em viveiros. Revista Brasileira de Zootecnia [online], 2002, v. 31, n. 3, pp. 1059-1069. ISSN 1806-9290. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000500001>.

Bai, S. K., & Gatlin III, D. M. (2019). Dietary lysine requirement of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fingerlings. Aquaculture Nutrition, 25(4), 889-897.

BICUDO, Á. J. A., SADO, R. Y., & CYRINO, J. E. P. (2009). Dietary lysine requirement of juvenile pacu (*Piaractus mesopotamicus* - Holmberg, 1887). Aquaculture, 297(1–4), 151–156. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.09.031>.

BOSCOLO, W.R.; REIDEL, A.; FEIDEN, A. et. al. Rendimento corporal do pacu (*Piaractus mesopotamicus*) cultivados em tanques-rede no reservatório de Itaipu, alimentados com diferentes níveis de proteína bruta. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PESCA, 1., 2006, Toledo. Anais... Toledo, 2006.

BOMFIM, M.A.D.; LANNA, E.A.T.; DONZELLE, J.L.; QUADROS, M. RIBEIRO, F.B.; SOUSA, M.P. Níveis de lisina, com base no conceito de proteína ideal, em rações para alevinos de tilápia-do-nilo. Revista Brasileira de Zootecnia, v.39, n.1, p.1-8, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000100001>.

Castillo, J. D. A., Nascimento, T. M. T., Mansano, C. F. M., Sakomura, N. K., Silva, E. P., & Fernandes, J. B. K. (2017). Determining the daily digestible protein intake for Nile tilapia at different growth stages. Boletim do Instituto de Pesca, 43, 54-63. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2017.54.63>.

COSTA SOUSA, M., BOMFIM, M. A. D., RIBEIRO, F. B., DE SIQUEIRA, J. C., MARCHÃO, R. S., DE SOUSA, T. J. R., & TAKISHITA, S. S. (2021). Lysine requirements of tambatinga (♀ *Colossoma macropomum* × ♂ *Piaractus brachypomus*) fingerlings using different diet formulation techniques. *Aquaculture Nutrition*, 27, 1825– 1836. <https://doi.org/10.1111/anu.13320>

Chen, X., Yao, J., Zhang, Q., Chen, G., & Liu, Y. (2015). Effects of dietary lysine levels on growth performance and body composition of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). *Aquaculture Research*, 46(9), 2207-2216.

DONG-FANG DENG, WARREN DOMINY, ZHI YONG JU, SHUNSUKE KOSHIO, RYAN MURASHIGE, ROBERT P. WILSON, Dietary lysine requirement of juvenile Pacific threadfin (*Polydactylus sexfilis*), *Aquaculture*, Volume 308, Issues 1–2, 2010, Pages 44-48. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.07.041>.

EBENEEZAR, S., VIJAYAGOPALA, P., SRIVASTAVAB, P. P., GUPTAB, S., VARGHESE, S. T., PRABUA, D. L., CHANDRASEKARA, S., ELDHO VARGHESEA, E., SAYOOJA, P., TEJPALC, C. S., & WILSONA, L. (2019). Dietary lysine requirement of juvenile silver pompano, (*Trachinotus blochii* - Lacepede, 1801). *Aquaculture*, 511. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.73>

EMMANS, G.C., FISHER, C., 1986. PROBLEMS IN NUTRITIONAL THEORY.

FARIA, REGINA & SOUZA, MARIA & WAGNER, PETRA & POVH, JAYME & RIBEIRO, RICARDO. (2003). Rendimento do processamento da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1757) e do pacu (*Piaractus mesopotamicus* - Holmberg, 1887). *Acta Scientiarum. Animal Sciences*. 25. [DOI: 10.4025/actascianimsci.v25i1.2068] DOI: 10.4025/actascianimsci.v25i1.2068.

FERNANDES, J. B. K.; CARNEIRO, D. J.; SAKOMURA, N. K. Fontes e níveis de proteína bruta em dietas para alevinos de pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 29, p. 646–653, 2000.

FERNANDES, J. B. K.; CARNEIRO, D. J.; SAKOMURA, N. K. Fontes e Níveis de Proteína Bruta em Dietas para Juvenis de Pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Revista Brasileira de Zootecnia, v. 30, n. 3, p. 617-626, 2001.

FISHER, C., MORRIS, T.R. The determination of the methionine requirements of laying pullets by a diet dilution technique. British Poultry Science, v. 11, p. 67-82, 1970. <https://doi.org/10.1080/00071667008415793>.

Fournier, V., Gouillou-Coustans, M.F., Métailler, R., Vachot, C., Moriceau, J., Le Delliou, H., Huelvan, C., Desbruyères, E., Kaushik, S.J., 2003. Excess dietary arginine affects urea excretion but does not improve N utilization in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and turbot (*Psetta maxima*). Aquaculture 217, 559–576. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00420-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00420-9).

FURUYA, WILSON & FURUYA, V.R.B. & NAGAE, M.Y. & GRACIANO, T.S. & MICHELATO, M. & XAVIER, TADEU & VIDAL, LUIZ. (2012). Nutrição de Tilápias no Brasil. Scientia Agraria Paranaensis. 11. 19-34. [DOI: 10.18188/1983-1471/sap.v11n1p19-34](DOI: 10.18188/1983-1471/sap.v11n1p19-34).

GOLTERMAN, H.L.; CLYMO, R.S.; OHNSTAD, M.A.M. Methods for physical and chemical analysis of freshwater. 2º ed. Oxford. Black well Sci. Publ. 214 p. 1978.

GONÇALVES, A. C. S.; MURGAS. L. D. S.; ROSA, P.V.; NAVARRO, R.D., COSTA, D.V.; TEIXEIRA, E.A. Desempenho produtivo de tambacus híbrido (♂*Piaractus mesopotamicus* x ♀*Colossoma macropomum*) alimentados com dietas suplementadas com vitamina E. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 45, n. 9, p. 1005-1011, 2010. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2010000900010>.

Grisdale-Helland, B., Gatlin III, D.M., Corrent, E., Helland, S.J., 2011. The minimum dietary lysine requirement, maintenance requirement and efficiency of lysine utilization for growth of Atlantic salmon smolts. Aquac. Res. 42, 1509–1529. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02743.x>.

HUA, K. (2013). Investigating the appropriate mode of expressing lysine requirement of fish through non-linear mixed model analysis and multilevel analysis. *British Journal of Nutrition*, 109(6), 1013–1021. <https://doi.org/10.1017/S0007114512002863>.

IAN FORSTER, HIROSHI Y. OGATA, Lysine requirement of juvenile Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) and juvenile red sea bream *Pagrus major*, *Aquaculture*, Volume 161, Issues 1–4, 1998, Pages 131–142, ISSN 0044-8486, [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00263-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00263-9).

Kaushik, S.J., Seiliez, I., 2010. Protein and amino acid nutrition and metabolism in fish: current knowledge and future needs. *Aquac. Res.* 41, 322–332. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02174.x>.

KHAN, K. U.; MANSANO C. F. M.; NASCIMENTO, T. M. T.; BOARATTI, A. Z.; RODRIGUES, A. T.; QUEIROZ, D. M. A.; ROMANELI, R. S.; SAKOMURA, N. K.; FERNANDES, J. B. K. Whole-body amino acid pattern of juvenile, pre adult and adult pacu, (*Piaractus mesopotamicus*), with an estimation of its dietary essential amino acid requirements. *Journal World Aquaculture Society*, v 51, n. 1, p. 224–234, 2019a. <https://doi.org/10.1111/jwas.12600>.

KOTZAMANIS, Y., KOUROUPAKIS, E., ILIA, V., HARALABOUS, J., PAPAIOANNOU, N., PAPANNA, K., RICHARDS, R., & GISBERT, E. (2018). Effects of high-level fishmeal replacement by plant proteins supplemented with different levels of lysine on growth performance and incidence of systemic non-infectious granulomatosis in meagre (*Argyrosomus regius*). *Aquaculture Nutrition*, 24, 1738–1751 <https://doi.org/10.1111/anu.12814>.

KOTZAMANIS, YANNIS; FAWOLE, F. J., BREZAS, A., KUMAR, V., FONTANILLAS, R., ANTONOPOULOU, E., KOUROUPAKIS, E., & ILIA, E. V. (2021). Dietary lysine requirement of greater amberjack juvenile (*Seriola dumerili*, Risso, 1810). *Aquaculture Nutrition*, 27, 2107–2118. <https://doi.org/10.1111/anu.13344>.

KUHI, H. D.; PORTER, T.; LÓPEZ, S.; KEBREAB, E.; STRATHE, A. B.; DUMAS, A.; DIJKSTRA, J.; FRANCE, J. A review of mathematical functions for the analysis of growth

in poultry. World's Poultry Science Journal, v. 66, p. 227- 239, 2010.  
<https://doi.org/10.1017/S0043933910000280>.

Markus Rodehutscord, Friedeman Borchert, Zoltan Gregus, Michael Pack, Ernst Pfeffer, Availability and utilization of free lysine in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): 1. Effect of dietary crude protein level, Aquaculture, Volume 187, Issues 1–2, 2000, Pages 163-176, ISSN 0044-8486, [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00388-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00388-9)

MARIANA MICHELATO, LUIZ VÍTOR DE OLIVEIRA VIDAL, TADEU ORLANDI XAVIER, LORENA BATISTA DE MOURA, FERNANDA LOSI ALVES DE ALMEIDA, VICTOR BRENO PEDROSA, VALÉRIA ROSSETTO BARRIVIERA FURUYA, WILSON MASSAMITU FURUYA, Dietary lysine requirement to enhance muscle development and fillet yield of finishing Nile tilapia, Aquaculture, Volume 457, 2016, Pages 124-130, ISSN 0044-8486, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.02.022>.

NRC 2011 - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13039>.

PERES, H., OLIVA-TELES, A., 2008. Lysine requirement and efficiency of lysine utilization in turbot (*Scophthalmus maximus*) juveniles. Aquaculture 257, 283–290

Pires, C. V., Oliveira, M. G. de A., Rosa, J. C., & Costa, N. M. B.. (2006). Qualidade nutricional e escore químico de aminoácidos de diferentes fontes protéicas. Food Science and Technology, 26(1), 179–187. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612006000100029>

RAFAEL DE SOUZA ROMANELI, THIAGO MATIAS TORRES DO NASCIMENTO, ROBERT MERVYN GOUS, MATHEUS DE PAULA REIS, CLEBER FERNANDO MENEGASSO MANSANO, KIFAYAT ULLAH KHAN, NILVA KAZUE SAKOMURA, JOÃO BATISTA KOCHENBORGER FERNANDES. Response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to lysine: Performance, body composition, maintenance and efficiency of utilization - Aquaculture, Volume 538, 2021, 736522, ISSN 0044-8486, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736522>.

RAFAEL SILVA MARCHÃO, FELIPE BARBOSA RIBEIRO, JEFFERSON COSTA DE SIQUEIRA, MARCOS ANTONIO DELMONDES BOMFIM, JANAYRA CARDOSO SILVA, THALLES JOSÉ RÊGO DE SOUSA, DAPHINNE CARDOSO NAGIB DO NASCIMENTO, MARILENE DA COSTA SOUSA, Digestible lysine requirement for Tambaqui (*Colossoma macropomum*) juveniles using the diet dilution technique, Aquaculture Reports, Volume 18, 2020, 100482, ISSN 2352-5134, <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100482>.

SAS Institute Inc. SAS OnDemand. Software, 2023. <https://welcome.oda.sas.com/>

SAKOMURA, N. K.; COON, C. Amino acid requirements for maintenance of broiler breeder pullets. In: European Symposium on Poultry Nutrition, Lillehammer, v. 14, p. 280-281, 2003.

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. Jaboticabal: Funep, p. 283, 2007.

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2016, 262 p.

Michael B. Rust,7 - Nutritional Physiology, Editor(s): John E. Halver, Ronald W. Hardy, Fish Nutrition (Third Edition), Academic Press, 2003, Pages 367-452, ISBN 9780123196521, <https://doi.org/10.1016/B978-012319652-1/50008-2>.

SEUNGHAN LEE, BRIAN C. SMALL, BISWAMITRA PATRO, KEN OVERTURE, RONALD W. HARDY, The dietary lysine requirement for optimum protein retention differs with rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss Walbaum*) strain, Aquaculture, Volume 514, 2020, 734483, ISSN 0044-8486, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734483>.

SILVA, E. F.; HONORATO, C. A. Tecnologia de processamento de salga úmida e salga seca de filé com e sem pele de pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Nucleus Animalium, v. 5, n. 1, p. 47-53, 2013

TAKISHITA, S.S.; LANNA, E.A.T.; DONZELE, J.L. et al. Níveis de lisina digestível em rações para alevinos de tilápia-do-nilo. Revista Brasileira de Zootecnia, v.38, no.11, p.2099-2105, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1516-3598200900110000>

Tian, L. X., Liu, Y. J., Yang, H. J., Liang, G. Y., & Liang, X. F. (2009). Optimal dietary lysine requirement for common carp (*Cyprinus carpio*) at the stage of rapid growth. Aquaculture, 294(3-4), 236-240.

WANG, Y, WANG, J, LIU, H, ET AL. Dietary lysine requirement of juvenile (*Pseudobagrus ussuriensis*). *Aquacult Nutr.* 2020; 26: 1266– 1274. <https://doi.org/10.1111/anu.13082>

ZHOU, QI-CUN, ZAO-HE WU, SHU-YAN CHI, QI-HUI YANG, Dietary lysine requirement of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*), Aquaculture, Volume 273, Issue 4, 2007, Pages 634-640, ISSN 0044-8486, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.08.056>.